



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 463 218 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 90112392.7

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **F23C 9/00**, **F23C 11/00**,  
**F23L 15/02**, **F23L 15/04**,  
**F23B 1/14**

22 Anmeldetag: 29.06.90

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
02.01.92 Patentblatt 92/01

71 Anmelder: **Wünning, Joachim, Dr.-Ing.**  
**Berghalde 20**  
**W-7250 Leonberg(DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE**

72 Erfinder: **Wünning, Joachim, Dr.-Ing.**  
**Berghalde 20**  
**W-7250 Leonberg(DE)**

74 Vertreter: **Rüger, Rudolf, Dr.-Ing. et al**  
**Webergasse 3 Postfach 348**  
**W-7300 Esslingen/Neckar(DE)**

54 Verfahren und Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff in einem Verbrennungsraum.

57 Zur Vermeidung hoher NO<sub>x</sub>-Emissionen wird der Brennstoff mit extrem hoher Verbrennungsabgas-

rückführung im wesentlichen flammenlos und pulsationsfrei oxidiert.

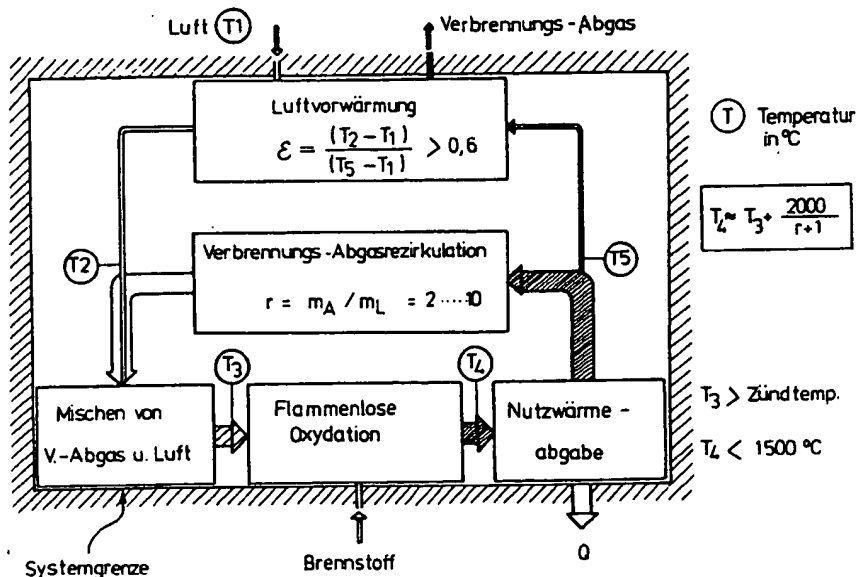


Fig. 1

EP 0 463 218 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einem Verbrennungsraum, bei dem Brennstoff mit vorzugsweise vorgewärmter Verbrennungsluft in Gegenwart von zurückgeführten Verbrennungsabgasen oxidiert wird.

Außerdem bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens mit einer durch Injektorwirkung Verbrennungsgase zurücksaugenden Düseneinrichtung für Verbrennungsluft, mit Luftleitmitteln zum Zuführen von Verbrennungsluft zu der Düseneinrichtung, mit einer Brennstoffzuführeinrichtung und gegebenenfalls mit einer Einrichtung zur Vorwärmung der Verbrennungsluft.

Das klassische Verfahren zur Umwandlung von Brennstoffenergie in Wärme ist die Oxidation des Brennstoffs mit einem Oxidationsmittel in Flammen. Bei der Verbrennung natürlicher Stoffe (Kohle, Kohlenwasserstoff mit Luft) liegt die Flammentemperatur im Bereich von etwa 1600° bis 2000° C mit dem Vorteil, daß die Oxidation des Brennstoffes nach dem Zündvorgang in der Flammenfront auch unter ungünstigen Umständen (z.B. offenes Feuer in einem Kamin usw.) von selbst weiterläuft. Dieses Prinzip wird auch bei der Verbrennung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen mit Brennern beibehalten, wobei die Maßnahmen zur Stabilisierung der Flamme eine große Rolle spielen. Die Brenner im Leistungsbereich von einigen kW bis zu mehreren MW werden je nach Zufuhr von Brennstoff und Luft in Vormisch- und Mündungsmischbrenner eingeteilt. Bei letzteren kann die Verbrennungsluft zur Rückgewinnung der Abgaswärme bis zu sehr hohen Temperaturen vorgewärmt werden. Als relative Luftvorwärmung  $\epsilon$  bezeichnet man - etwas vereinfacht ausgedrückt - das Verhältnis der Verbrennungsluft-Vorwärmtemperatur zur Temperatur des Verbrennungs-Abgases beim Verlassen des Verbrennungsraums (beides in °C). Bei sogenannten Rekuperatorbrennern werden in der Praxis Luftvorwärmgrade  $\epsilon$  von ungefähr 0,7 erreicht; bei sogenannten Regeneratorbrennern bis zu etwa 0,9.

Die Vorwärmung der Verbrennungsluft erlaubt es zwar, eine beträchtliche Energieeinsparung zu erzielen; sie erhöht aber die Flammentemperatur und führt damit zu einer sehr starken Erhöhung der thermischen NOx-Bildung. Diese Stickoxide sind wegen der durch sie bedingten Umweltbelastung unerwünscht. Es gibt deshalb gesetzliche Vorschriften, die die erlaubte NOx-Emission begrenzen, wobei die Tendenz besteht, die zulässigen Grenzwerte zunehmend abzusenken.

Bekannte NOx-arme Brenner arbeiten mit sogenannter Stufenverbrennung (DE-PS 34 22 229) und/oder Kühlung der Flamme durch zurückgeführtes Verbrennungsabgas (vgl. beispielsweise "Gaswärme international" Band 38 (1989, Heft 5, Juni/Juli, Seiten 283 bis 292; Seite 290)).

Zur Kühlung der Flamme und zur NOx-Absenkung wird dabei Abgas aus dem Verbrennungsraum entweder strömungstechnisch zurückgesaugt (innere Rezirkulation) oder von außen wieder zugeführt (äußere Rezirkulation). Wegen der Flammenstabilität ist die Abgasbeimischung auf maximal etwa 50%, bezogen auf die Verbrennungsluftmenge, begrenzt.

Daneben ist es auch bekannt, zur Flammenstabilisierung heißes Gas unmittelbar aus der Flamme an der Flammenwurzel zurückzuführen und bei mit fließfähigen Brennstoffen arbeitenden Brennern dieses heiße Abgas zunächst dem Brennstoffstrahl zuzuführen, um den Brennstoff, in der Regel Öl, vor der Verbrennung und der Zumischung der Verbrennungsluft zu verdampfen (sogenannte "Blaubrenner"). Ein Beispiel hierfür ist in der DE-PS 23 03 280 beschrieben.

Abgesehen von der Verbrennung des Brennstoffs in Flammen ist auch eine sogenannte flammenlose Verbrennung des Brennstoffs bekannt, die technisch beispielsweise bereits bei Strahlungsbrennern angewandt wird ("Gaswärme international" Band 34 (1985) Heft 4, April, Seiten 162 bis 166). Die Oxidation des gasförmigen Brennstoffes findet dabei unmittelbar an der Oberfläche eines porösen, meist keramischen Körpers statt, der die Wärme durch Strahlung abgibt. Die relativ niedrige Temperatur bei der Oxidation führt zu einer geringen NOx-Bildung. Da der Brennstoff mit der Verbrennungsluft vorgemischt wird, kann die Verbrennungsluft aber nur wenig vorgewärmt werden, weil sonst eine vorzeitige Zündung oder eine thermische Zersetzung des Brennstoffes eintritt. Diese Brenner sind deshalb für größere Leistungen und höhere Temperaturen (über ca. 900° C) nicht wirtschaftlich genug; außerdem setzt die Form der Strahlungskörper der Anwendung Grenzen.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die es erlauben, die Oxidation von Brennstoffen mit Luft unter weitgehender Ausnutzung der bei der Oxidation frei werdenden Wärme und dabei bei geringer Bildung von Stickoxiden (Nox) durchzuführen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß derart vorgegangen, daß Verbrennungsabgase, denen vorher aus dem System nach außen abgeführte Nutzwärme entzogen wurde, mit der vorgewärmten Verbrennungsluft in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis  $r \geq 2$  vermischt wird (wobei das Abgasrückführverhältnis als das Verhältnis der Massenströme des rückgeführten Verbrennungsabgases und der zugeführten Verbrennungsluft definiert ist) und dabei dieses Abgas/Luft-Gemisch auf einer Temperatur gehalten wird, die höher liegt als die Zündtemperatur und daß das Abgas/Luft-Gemisch sodann mit dem Brennstoff unter Ausbildung

einer Oxidationszone zusammengebracht wird, in der eine im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation in dem Verbrennungsraum stattfindet.

Dieses Verfahren arbeitet mit einer extremen hohen Verbrennungsabgasrückführung ( $r \geq 2$ ), so daß selbst bei vollständiger Luftvorwärmung ( $\epsilon = 1$ ) die bei der Oxidation auftretenden maximalen Temperaturen ( $\leq 1500^\circ \text{C}$ ) niedriger liegen als bei der Verbrennung des Brennstoffs in Flammen. Trotz hoher Luftvorwärmung und damit optimaler Ausnutzung der Abgaswärme sind die bei der flammenlosen Oxidation auftretenden  $\text{NO}_x$ -Werte weit unter die Werte abgesenkt, die bei einer Verbrennung des Brennstoffes mit Flammen ohne Vorwärmung der Verbrennungsluft auftreten würden. Das neue Verfahren hat somit den bisher bestehenden Zielkonflikt zwischen einer Energieeinsparung durch Luftvorwärmung und einer möglichst weitgehenden Vermeidung des Auftretens von Stickoxiden praktisch vollständig beseitigt. Außerdem geht, wie die Praxis bestätigt hat, im Vergleich zu den bei der Verbrennung mit Flammen auftretenden Geräuschentwicklung der Geräuschpegel im Verbrennungsraum bei dem neuen Verfahren drastisch zurück, weil die für die Geräuschentwicklung maßgebenden Druckschwankungen in der Flammenfront entfallen.

Die Rückführung der durch Nutzwärmeentzug teilweise herabgekühlten Verbrennungsabgase aus dem Verbrennungsraum und deren Vermischung mit der vorgewärmten Verbrennungsluft kann an sich in verschiedener Weise geschehen, wobei grundsätzlich auch eine äußere Rezirkulation denkbar ist. Besonders zweckmäßige Verhältnisse ergeben sich aber, wenn die Verbrennungsluft in Form von aus Düsen austretenden Luftstrahlen durch einen im wesentlichen brennstofffreien Bereich geführt wird, in dem die Luftstrahlen sich mit durch Injektorwirkung aus dem Verbrennungsraum angesaugten Verbrennungsabgasen umhüllen und vermischen können. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Luftstrahlen kranzförmig angeordnet werden und die Brennstoffzufuhr in dem von den Luftstrahlen umschlossenen Bereich in einem vorbestimmten Abstand hinter den Düsenöffnung erfolgt. Bei dieser Art der Anordnung der Luftstrahlen und der Brennstoffzufuhr wird der Brennstoff von den Luftstrahlen eingeschlossen, was sich günstig auf den vollständigen Ausbrand auswirkt. Der Abstand, in dem der Brennstoff stromabwärts von den Düsenöffnungen zugeführt wird, hängt von den Bedingungen des Einzelfalles ab; sein optimaler Wert kann gegebenenfalls durch einige Versuche ermittelt werden. Sein Größtwert ist dadurch begrenzt, daß sich auf jeden Fall noch eine ausreichende Durchmischung des Brennstoffs mit den Verbrennungsabgas-/Verbrennungsluft-Strahlen er-

gibt.

Die Verbrennungsluft wird mit Rücksicht auf eine hohe Energieersparnis zweckmäßigerweise mit einem Luftvorwärmungsgrad  $\epsilon \geq 0,6$  vorgewärmt, wobei in der Praxis die Ausnutzung der in den Verbrennungsabgasen enthaltenen Wärme nur dadurch begrenzt ist, daß die in die Atmosphäre abgeführten Verbrennungsabgase, beispielsweise wegen der sonst auftretenden Wasserdampfkondensation etc. eine bestimmte Mindesttemperatur behalten müssen.

Zur Vorwärmung der Verbrennungsluft werden, wie erwähnt, in der Regel Verbrennungsabgase verwendet, denen vorher Nutzwärme entzogen wurde. Grundsätzlich wäre es natürlich auch denkbar, für die Luftvorwärmung Abfallwärme zu verwenden, die von anderen Prozessen herrührt.

Um das verfahrensnotwendige Verbrennungsabgasrückführverhältnis einzustellen, wird bei der erwähnten kranzartigen Anordnung der Luftstrahlen der Mindestabstand benachbarter Düsenöffnungen mit Vorteil  $\geq$  als der doppelte Düsenöffnungsdurchmesser gemacht. Auch hat es sich als zweckmäßig erwiesen, wenn die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft beim Austritt aus den Düsenöffnungen mindestens 20 m/sec beträgt. Dieser Mindestwert läßt noch genügend Spielraum für ein großes Regelverhältnis, beispielsweise von 10:1. Bei der flammenlosen Oxidation nach dem neuen Verfahren gibt es nämlich keine Stabilitätskriterien, wie sie beispielsweise bei einer Flammenverbrennung, beispielsweise durch die Flammenstabilität, gegeben sind.

In bestimmten Fällen bei hohem Nutzwärmeentzug kann es notwendig werden, daß das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch durch Zufuhr von Fremdwärme zumindest in der Oxidationszone auf Zündtemperatur gehalten wird. Andererseits oder zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, in der Oxidationszone die Zündtemperatur katalytisch, d.h. durch Verwendung von Katalysatoren, herabzusetzen.

Um die flammenlose Oxidation des Brennstoffs in Gang zu setzen, muß zum einen eine ausreichende Verbrennungsabgasmenge zum Zumischen zu der Verbrennungsluft zur Verfügung stehen und zum anderen muß das Verbrennungsluft-/abgasgemisch mindestens Zündtemperatur haben.

Diese Bedingungen können beim Anfahren aus kaltem Zustand naturgemäß grundsätzlich-künstlich durch eine entsprechende Luftvorwärmung mit Fremdwärme geschaffen werden. Besonders einfache Verhältnisse ergeben sich aber, wenn bei diesem Anfahrbetrieb in dem Verbrennungsraum zunächst Brennstoff unter entsprechendem Luftüberschuß mit stabiler Flamme verbrannt wird, bis das Verbrennungsluft-/abgasgemisch mindestens auf Zündtemperatur gebracht werden kann und daß

sodann durch entsprechende Veränderung der Verbrennungsluft- und/oder der Brennstoffzufuhr die Reaktionsbedingungen in der Oxidationszone auf die im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation übergeleitet werden.

Bei der Untersuchung der flammenlosen Oxidation in der Oxidationszone wurde festgestellt, daß mit dem Verschwinden der Flammenerscheinung nicht nur das blaue Leuchten und die Flammengeräusche, sondern auch die sonst bei der Oxidation auftretende Strahlungsemission im UV-Bereich (ca. 190 bis 270 nm) verschwinden. Daraus kann ein wichtiges Hilfsmittel zur Optimierung und auch zur Überwachung des Oxidationsvorganges gewonnen werden, indem beim Anfahren die Lichtemission der Flamme im UV-Bereich und nach dem Einsetzen der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidation das Verschwinden dieser Lichtemission im UV-Bereich überwacht werden. Die Aussage der gewonnenen Meßwerte ist dabei gerade entgegengesetzt wie bei der Verbrennung mit Flammen. Bei einer solchen Verbrennung zeigt das Auftreten eines UV-Signals, daß die Flamme stabil brennt, während beim Erlöschen der Flamme das UV-Signal verschwindet.

Zur Überwachung der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidation wird deshalb mit Vorteil die strömungsabwärts hinter der Oxidationszone gemessene Temperaturerhöhung in dem Verbrennungsraum benutzt.

Das neue Verfahren kann für praktisch jede Art von Wärmeengewinnung, insbesondere gewerblicher oder industrieller Anwendung, benutzt werden. Da die NOx-Werte selbst bei höchster Vorwärmung der Verbrennungsluft niedriger liegen als bei Flammenbetrieb mit Kaltluft, kann es zweckmäßig sein, auch bei Niedertemperaturprozessen (z.B. Warmwasserbereitung) durch Verkleinerung der Wärmetauscherflächen die Nutzwärmeauskopplung zu begrenzen und den verbleibenden Wärmeinhalt der Verbrennungsabgase durch Ausnutzung zum Zwecke der Verbrennungsluftvorwärmung zurückzugewinnen. Damit ergeben sich extrem niedrige NOx- und Schallemissionen, während gleichzeitig der apparative Aufwand gering und platzsparend ist.

Das neue Verfahren kann mit gasförmigem oder flüssigem (zerstäubtem oder verdampftem) Brennstoff durchgeführt werden, doch eignet es sich auch zur Verbrennung von festen Brennstoffmaterialien, die unter Erzeugung brennbarer Gase zumindest teilweise thermisch zersetzt (vergast) werden können. Es kann in sogenannten Rekuperatorbrennern, in sogenannten Regenerativbrennern oder auch in Anlagen zum Verbrennen von Kohle, Müll, Abfallstoffen und anderen brennbaren Materialien eingesetzt werden.

Eine zur Durchführung des erläuterten Verfah-

rens eingerichtete Vorrichtung der eingangs genannten Art ist gemäß weiterer Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß sie durch entsprechende Anordnung und Ausbildung der Düseneinrichtung mit einer Rücksaugung von Verbrennungsabgasen aus dem Verbrennungsraum in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis  $r \geq 2$  arbeitet, wobei aus der Düseneinrichtung austretende Verbrennungsluft mit den zurückgesaugten, im Verbrennungsraum teilweise abgekühlten Verbrennungsabgasen unter Ausbildung eines zumindest Zündtemperatur aufweisenden Verbrennungsluft-/Abgasgemisches mischbar ist und die Brennstoffzufuhreinrichtung zur Zufuhr des Brennstoffes zu diesem Gemisch eingerichtet ist, derart, daß sich in einer sich in dem Verbrennungsraum ausbildenden Oxidationszone eine im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation des Brennstoffes ergibt.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen dieser Vorrichtung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

- 25 Fig. 1 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 2 eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer Schnittdarstellung, in einer Seitenansicht,
- 30 Fig. 3 die Vorrichtung nach Fig. 2, geschnitten längs der Linie III-III der Fig. 2 in schematischer Darstellung in der Draufsicht,
- 35 Fig. 4 einen Rekuperatorbrenner gemäß der Erfindung in schematischer Darstellung, im Längsschnitt und in einer Seitenansicht,
- 40 Fig. 5 die Anordnung der Verbrennungsluft-Düsen des Rekuperatorbrenners nach Fig. 4, in einer Draufsicht,
- Fig. 6 einen Regeneratorbrenner gemäß der Erfindung in einem axialen Längsschnitt, in schematischer Darstellung und in einer Seitenansicht,
- 45 Fig. 7 den Rekuperatorbrenner nach Fig. 6 in einer schematischen stirnseitigen Ansicht von der Düsenseite her,
- 50 Fig. 8 eine Verbrennungsvorrichtung gemäß der Erfindung für feste Brennstoffmaterialien, in einem axialen Längsschnitt in schematischer Darstellung und in einer Seitenansicht,
- 55 Fig. 9 die Vorrichtung nach Fig. 8, geschnitten längs der Linie VIII-VIII der Fig. 8 in einer Draufsicht und
- Fig.10 ein Diagramm zur Veranschaulichung

der bei verschiedenen Verbrennungsvorgängen auftretenden NOx-Bildung in Abhängigkeit von der Verbrennungsluftvorwärmung,

Das neue Verfahren dient dazu, unter kontrollierten Bedingungen bei niedrigen Temperaturen ( $\leq 1500^\circ \text{C}$ ) Brennstoff mit hoch vorgewärmter Luft NOx-arm zu oxidieren. Sein grundsätzlicher Ablauf soll zunächst anhand der Fig. 1 bis 3 erläutert werden:

In den Fig. 2, 3 ist eine Vorrichtung zur im wesentlichen flammenlosen und impulsfreien Oxidation eines gasförmigen Brennstoffes (beispielsweise Erdgas) schematisch dargestellt. Diese Vorrichtung weist einen abgeschlossenen Verbrennungsraum 1 auf, der in einer bei 2 angeordneten Kammer sich befindet, von deren Außenwand Nutzwärme Q abgeführt werden kann, was durch einen Pfeil 3 veranschaulicht ist. Im Bereiche einer Stirnwand der im wesentlichen zylindrischen Kammer 2 sind sechs Düsen 4 vorgesehen, die mit den Achsen ihrer Düsenöffnungen auf einem gemeinsamen Kreis 5 (Fig. 3) liegend kranzförmig angeordnet sind und mit einem mit der zugeordneten Kammerwandung verbundenen Luftverteilergehäuse 6 in Verbindung stehen. An das Luftverteilergehäuse 6 ist über eine Luftleitung 7 ein beispielsweise als Wärmetauscher ausgebildeter Luftvorwärmer 8 angeschlossen, dem Verbrennungsluft über einen Lufteinlaßstutzen 9 zugeführt werden kann.

Von dem Verbrennungsraum 1 geht seitlich neben den kranzartig angeordneten Verbrennungsluft-Düsen 4 eine Verbrennungsabgasleitung 10 ab, die den Verbrennungsraum 1 in der die Düsen 4 tragenden Stirnwand 11 mündet. Die Verbrennungsabgasleitung 10 führt zu dem Luftvorwärmer 8, von dem ein Abgasstutzen 12 abgeht, über den die ausgekühlten Abgase in die Atmosphäre abgeführt werden. In dem Luftvorwärmer 8 werden die über die Leitung 10 zuströmenden heißen Verbrennungsabgase im Gegenstrom zu der bei 9 zugeführten Verbrennungsluft geführt; sie geben dabei ihre Wärme an die Verbrennungsluft ab und wärmen diese vor.

In den Verbrennungsraum 1 mündet in dem von den kranzartig angeordneten Düsen 4 umschlossenen Bereich eine Brennstoffzufuhrleitung 13, die an einem Brennstoffzufuhrstutzen 14 angeschlossen ist und deren Mündung 15 in einem vorbestimmten Abstand von den Mündungen der Düsen 4 liegt, die ihrerseits gegenüber der Innenseite der Kammerwand 11 um einen bei 16 angeordneten Betrag axial vorgezogen sind.

Wie aus Fig. 2 zu ersehen, liegt die Mündung 15 der Brennstoffzufuhrleitung 13 in einem vorbestimmten axialen Abstand

stromabwärts von der Mündung der Dü-

sen 4. Der Achsabstand A der Öffnungen benachbarter Düsen 4 ist größer als der doppelte Durchmesser d einer Düsenöffnung; er liegt in der Praxis häufig zwischen 3 bis 10 d und größer.

Im stabilen Betrieb wird in den Verbrennungsraum 1 über die Düsen 4 Verbrennungsluft eingeführt, die aus den Öffnungen der Düsen 4 in Form von Luftstrahlen austritt, welche im wesentlichen achsparallel oder geringfügig schräg nach innen zur Achse der zentralen Brennstoffzufuhrleitung 13 zu geneigt sind. In dem Verbrennungsraum besteht eine Zirkulationsströmung heißer Verbrennungsabgase, die durch Pfeile 17 angedeutet ist und im Bereiche der Kammerwand 11 seitlich abgelenkt wird. Die aus den Düsen 4 austretenden Luftstrahlen durchqueren deshalb zunächst einen im wesentlichen brennstofffreien mit den zurückströmenden Verbrennungsabgasen gefüllten Raum, indem sie durch Injektorwirkung Verbrennungsabgase ansaugen und sich dabei mit Verbrennungsabgasen umhüllen sowie mit diesen vermischen. Es entstehen deshalb innerhalb einer Mischstrecke oder -zone 18 Verbrennungsluft-/Abgas-Gemischstrahlen, in denen ein von außen nach innen gerichtetes Sauerstoffgefälle vorhanden ist, derart, daß die Außenzonen der Gemischstrahlen an Sauerstoff verarmt sind.

Zufolge der erwähnten Wahl des Verhältnisses des Düsenachsabstandes A und des Düsenöffnungsdurchmessers d wird erreicht, daß in der Mischstrecke 18 die vorgewärmte Verbrennungsluft mit dem aus dem Verbrennungsraum 1 zurückgesaugten Verbrennungsabgas in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis vermischt wird, das  $r \geq 2$  ist.

In das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch wird am Ende der Mischstrecke 18 aus der Brennstoffleitung 13 Brennstoff eingeführt, wobei die Tiefe der Mischstrecke 18 mindestens sechs mal dem Düsenöffnungsdurchmesser d ist. Die Mündung 15 der Brennstoffzufuhrleitung 13 liegt hier, innerhalb der Mischstrecke 18.

Die in der beschriebenen Weise zurückgesaugten und mit der vorgewärmten Verbrennungsluft vermischten Verbrennungsabgase haben auf ihrem Rückweg an der Seitenwand der Kammer 2 Nutzwärme Q abgegeben; sie sind deshalb bereits etwas abgekühlt.

Die Verbrennungsluft- und Brennstoffzufuhr sind derart eingestellt, daß sich unter den gegebenen Bedingungen eine im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation zwischen dem Brennstoff und der Verbrennungsluft ergibt, die in einer bei 19 angedeuteten Oxidationszone in dem Verbrennungsraum 1 stattfindet.

Diese im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation ist dadurch ausgezeichnet, daß sie sehr geräuscharm und ohne Lichtemission, ins-

besondere auch im ultravioletten Bereich, abläuft. Ein in die der Kammerwandung 11 gegenüberliegende Kammerwandung 20 eingesetzter UV-Detektor 21 kann deshalb dazu verwendet werden, den im wesentlichen flammenlosen Ablauf der Oxidation zu überwachen. Sowie das von ihm abgegebene Signal verschwindet, d.h. keine UV-Strahlung auftritt, findet die Oxidation flammenlos statt. Zur Überwachung der Oxidation selbst dient ein Temperaturfühler 22, der in der Nähe der Kammerwandung 11 in den Verbrennungsraum 1 ragt.

Die zuvor geschilderten Verhältnisse in der Mischstrecke 18 sind in Fig. 3 schematisch veranschaulicht: Die aus den Öffnungen der kranzartig angeordneten Düsen 4 austretenden Verbrennungsluft-Kernstrahlen sind gestrichelt dargestellt und mit 23 bezeichnet. Sie umgeben sich mit einem Mantel angesaugter Abgase, so daß sich Verbrennungsabgas-/Luftstrahlen ergeben, die bei 24 angedeutet sind und die eine Kernzone umgeben, in welche am Ende der Mischstrecke 18 Brennstoff eingebracht wird, wie dies bei 25 angedeutet ist. Die Oxidation dieses Brennstoffes beginnt an der mit 26 bezeichneten, schematisch angedeuteten Grenzzone zwischen dem brennstoffgefüllten Bereich und dem an Sauerstoff verarmten Außenbereich der Verbrennungsabgas-/Luftstrahlen 24.

In dem Verbrennungsraum 1 ist noch eine Hilfsheizeinrichtung 27 angeordnet, die von dem rezirkulierenden Verbrennungsabgas durchströmt wird und es erlaubt, dieses beispielsweise im Anfahrbetrieb so weit aufzuheizen, daß das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch in der Mischstrecke 18 mindestens auf die Zündtemperatur gebracht wird.

Da die Verbrennungsluft aus den Düsen 4 mit verhältnismäßig hoher Geschwindigkeit (ca. 20 m/sec) austritt, ergibt sich in dem Verbrennungsraum 1 ein hoher Impulsstrom, der für einen schnellen Temperatúrausgleich in dem Verbrennungsraum 1 sorgt. Gleichzeitig läßt sich eine hohe Energiedichte für die Nutzwärmeabfuhr erzielen.

Die Verfahrensschritte sind schematisch in Fig. 1 dargestellt, wobei gleichzeitig die bei den einzelnen Verfahrensstufen herrschenden Temperaturen angegeben sind.

Die von der Kammerwandung 2 abgeführte Nutzwärme Q wird aus dem ganzen System ausgekoppelt; sie steht deshalb nicht für die Luftvorwärmung zur Verfügung.

In den Fig. 4, 5 ist ein Industriebrenner in Gestalt eines sogenannten Rekuperatorbrenners dargestellt, der nach dem beschriebenen neuen flammenlosen Oxidationsverfahren arbeitet und grundsätzlich ähnlich der anhand der das Prinzip veranschaulichenden Fig. 2, 3 beschriebenen Vorrichtung aufgebaut ist. Gleiche Teile sind deshalb

mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet und nicht weiter erläutert.

Der beispielsweise im Querschnitt ebenfalls zylindrische Verbrennungsraum 1 ist in diesem Falle in einer ummauerten Ofenkammer 30 enthalten, in der eine von einem Wärmeträgermittel, beispielsweise Wärmeträgeröl, durchströmte Rohrschlange 31 angeordnet ist, die von dem rückströmenden heißen Verbrennungsabgas umströmt ist und diesem Nutzwärme entzieht, bevor es in den Bereich der Verbrennungsluftdüsen 4 gelangt. Die Heizschlange 31 umgibt die flammenlose Oxidationszone 19; die Wärmeauskopplung erfolgt über einen Anschlußstutzen 32, während das kalte Wärmeträgermittel über einen Anschlußstutzen 33 zuströmt.

Die Brennkammer 30 weist eine stirnseitige koaxiale zylindrische Öffnung 34 auf, in die der insgesamt mit 35 bezeichnete Rekuperatorbrenner lösbar eingesetzt ist. Dieser ist mit einem einseitig verschlossenen zylindrischen Luftleitzyylinder 36 ausgebildet, in den andernends eine zylindrische, topfförmige, keramische Brennkammer 37 eingesetzt ist. Die Brennkammer 37 ist mit einer in den Verbrennungsraum 1 ragenden halsartig vorgezogenen koaxialen Auslaßdüse 39 ausgebildet, deren Mündung wiederum mit 15 bezeichnet ist. Auf der gegenüberliegenden Seite ist die Brennkammer 37 mit Lufteinlaßöffnungen 40 versehen, die seitlich neben einer koaxialen, in die Brennkammer 37 ragenden Brennstoffzuführleitung 41 angeordnet sind, die durch ein Ventil 42 gesteuert ist und über die gasförmiger Brennstoff, beispielsweise Erdgas, zugeführt werden kann. Eine im Inneren der Brennstoffzuführleitung 41 liegende Zündlanze 43 erlaubt es, das im Inneren der Brennkammer 37 gebildete Gas-Luftgemisch mit Hochspannung elektrisch zu zünden, wie dies an sich bekannt ist.

Der Luftleitzyylinder 36 kann über eine ein Ventil 44 enthaltende Leitung 45 mit Hilfs-Verbrennungsluft zum Anfahren beaufschlagt werden, wie dies im einzelnen noch erläutert werden wird.

Koaxial zu dem Luftleitzyylinder 36 und diesen umgebend ist eine zylindrische Wand 47 angeordnet, die Teil eines Rekuperators ist und Wärmetauscherbleche 48 trägt, die einerseits in den mit dem Luftleitzyylinder 36 begrenzten Ringraum 48 und andererseits in den Ringraum 49 ragen, der zwischen der Innenwandung der Öffnung 34 und der zylindrischen Wand 47 ausgebildet ist und sich in den Verbrennungsraum 1 öffnet. Dieser Ringraum ist durch einen Deckel 50 verschlossen, von dem der Verbrennungsabgasstutzen 12 abgeht.

Der Ringraum 48 ist einenends bei 51 ebenfalls verschlossen, während er auf der gegenüberliegenden Seite in die in einem entsprechenden Ringblech kranzartig angeordneten Düsenöffnungen 4 mündet, die achsparallel angeordnet sind. An den Ringraum 48 ist über ein Ventil 52 der Ver-

brennungsluftzufuhrstutzen 9 angeschlossen.

Die kranzartige Anordnung der Öffnungen der Düsen 4 ist aus Fig. 5 zu ersehen. Im vorliegenden Falle sind sechs Düsen 4 vorgesehen, doch kann deren Zahl auch größer sein. Der Achsabstand A benachbarter Öffnungen der Düsen 4 ist wiederum größer als der doppelte Düsenöffnungsdurchmesser d. Die axiale Tiefe s der Mischstrecke 18 ist größer als das Sechsfache des Düsenöffnungsdurchmessers d. Zusätzlich zu dem Temperaturfühler 22 ist noch ein weiterer Temperaturfühler 53 vorhanden, der in der Nähe der unteren Innenwand der Ofenkammer 30 in den Verbrennungsraum 1 ragt und damit die Temperatur T5 (Fig. 1) der heißen Verbrennungsabgase vor dem Entzug der Nutzwärme mißt.

Der beschriebene Rekuperatorbrenner 35 arbeitet mit einem Verbrennungsgasrückführverhältnis  $\epsilon \geq 2$ ; seine Wirkungsweise ist wie folgt:

Beim Anfahren aus dem kalten Zustand ist das Ventil 52 geschlossen oder stark gedrosselt, so daß die Düsen 4 nicht oder nur in stark vermindertem Maße mit Verbrennungsluft beaufschlagt sind. Das Ventil 44 ist geöffnet mit der Folge, daß Verbrennungsluft durch die Lufteinlässe 40 in die Brennkammer 37 eintritt.

Das Ventil 42 ist ebenfalls geöffnet; das in der Brennkammer 37 sich bildende Brennstoff/Luftgemisch wird mittels der Zündlanze 43 gezündet. Das teilverbrannte Gasgemisch tritt aus der Düse 39 aus und wird mit aus den Düsen 4 zugeführten Verbrennungsluft mit Flammenbildung vollständig verbrannt. Der Brenner arbeitet insoweit in herkömmlicher Weise.

Die bei dieser Flammenverbrennung entstehenden Abgase folgen dem bei 17 angedeuteten Strömungsweg und strömen durch den Ringkanal 49 und den Abgasstutzen 12 ab. Dabei wird der aus der zylindrischen Wand 47 und den Wärmetauscherblechen 48 gebildete Rekuperator abgasseitig aufgeheizt.

Sowie die abströmenden Verbrennungsabgase eine ausreichend hohe Temperatur erreicht haben, wird das Ventil 44 zumindest teilweise geschlossen, während gleichzeitig das Ventil 52 ganz geöffnet wird, so daß der Luftdurchsatz durch die Luftdurchlässe 40 der Brennkammer 37 abgesperrt oder auf mindestens 30% der Gesamtluftmenge gedrosselt wird und die Düsen 4 voll mit der Verbrennungsluft beaufschlagt werden.

Die aus den Öffnungen der kranzartig angeordneten Düsen 4 austretenden Strahlen der in dem Rekuperator 47, 48 vorgewärmten Luft umhüllen und mischen sich in der Mischstrecke 18 in anhand der Fig. 2, 3 bereits beschriebener Weise mit den rezirkulierten, durch Injektorwirkung angesaugten Verbrennungsabgasen und bilden ein Abgas-/Luftgemisch, dessen Temperatur T3 oberhalb der

Zündtemperatur liegt. In dieses Gemisch wird am Ausgang der Mischstrecke 18 über die Düsenöffnung 15 der nunmehr lediglich mit Brennstoff beaufschlagten Brennkammer 37 der Brennstoff eingebracht.

Damit geht die vorher mit Flammen erfolgende Verbrennung in die flammenlose pulsationsfreie Oxidation des Brennstoffs in der Oxidationszone 19 über, womit der normale Betriebszustand des Rekuperatorbrenners 35 erreicht ist.

Die Brennstoffzufuhr wird durch entsprechende Steuerung des Ventiles 42 zweckentsprechend eingestellt. Die Oxidationsüberwachung erfolgt durch die Temperaturfühler 22, 53 sowie den UV-Flam mendetektor 21, der mit dem Einsetzen der flammenlosen Oxidation kein kontinuierliches Signal mehr abgibt.

Im nachstehenden sei ein Ausführungsbeispiel für die Durchführung der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien kontrollierten Oxidation von Brennstoff in einem grundsätzlich entsprechend den Fig. 4, 6 ausgebildeten Rekuperatorbrenner angegeben:

#### 25 Kontrollierte, flammenlose Oxidation von Brennstoff in Abgas/Luft-Strahlen

Rekuperatorbrenner stirnseitig eingebaut in einer Ofen- oder Brennkammer wie in Fig. 4.

Brennkammer (30) isoliert mit einer hochfeuerfesten Fasermatte.

Durchmesser, innen: 600 mm; Länge, innen: 2300 mm; Wandverlust bei 1000° C: ca. 20 kW (entspricht Nutzwärme).

Rekuperatorbrenner mit zylindrischem Rippenrekuperator (47, 48) und mit keramischer Brennkammer (37) für den Flammenbetrieb ausgebildet.

#### 40 Luftdüsen (4)

- Anzahl

n: 12

- Durchmesser

d: 7 mm

- Kranzdurchmesser

D: 80 mm

- Achsabstand

A: 21 mm

Verbrennungsluft:

25 m³/h

Erdgas:

2,5 m³/h

Sauerstoff im Abgas:

ca. 2 Vol.%

55 Flammenbetrieb bis 750° C mit ca. 70% Innenluft durch die Düse (39) und 30% Düsenluft durch die Düsen (4) als Sekundärluft (Stufen-Strahl-Brenner). Der Brenner wurde automatisch mit Hoch-

spannung gezündet und durch einen UV-Flamendetektor (21) überwacht. Die Flamme leuchtet blau.

NO im trockenen Abgas bei 700° C: 80 ppm.

Für den Betrieb mit flammenloser Oxidation wird bei 750° C die gesamte Innenluft auf den Düsenkranz umgeschaltet. Die blaue Flamme verlöscht. Das-UV-Signal flackert zunächst noch und verschwindet dann ganz.

Bei 1100° C Brennkammertemperatur betrug die Luftvorwärmung ca. 810° C entsprechend einem  $\epsilon$  von 0,75. Dabei wurde im trockenen Abgas ein NOx-Gehalt < 10 ppm gemessen.

Bei Umschaltung auf Flammenbetrieb mit 70% Innenluft bei 110° C wurden dagegen 300 ppm NOx gefunden.

Es hat sich gezeigt, daß bei achsparalleler Brennstoffzufuhr, wie sie in Fig. 4 veranschaulicht ist, die Düse 39 nach dem Anfahren aus dem Verbrennungsraum 1 weiter zurückgezogen werden kann, ohne daß in der Oxidationszone 19 eine Flamme entsteht. Es sind deshalb auch Ausführungsformen denkbar, bei denen die Brennstoffdüse oder allgemein die Mündung der Brennstoffzuführeinrichtung längsverstellbar ausgebildet ist.

In den Fig. 6, 7 ist ein Industriebrenner in Form eines sogenannten Regeneratorbrenners veranschaulicht, der nach dem neuen Verfahren arbeitet. Mit der Vorrichtung nach den Fig. 2, 3 bzw. mit dem Rekuperatorbrenner nach den Fig. 4, 5, gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen und nicht nochmals erörtert.

Der allgemein mit 60 bezeichnete Regeneratorbrenner ist wiederum in die Öffnung 34 einer Brenn- oder Ofenkammer 30 eingesetzt, in der der nicht weiter dargestellte Verbrennungsraum ausgebildet ist. Er weist einen coaxialen Luftleitzyylinder 36 auf, in dem die coaxiale Brennstoffzuführleitung 41 und die in dieser verlaufende coaxiale Zündlanze 43 angeordnet sind. Der Luftleitzyylinder 36 ist endseitig durch einen Deckel 61 verschlossen und mündet andererseits in die aus Keramik bestehende hochfeuerfeste topfartige Brennkammer 37, deren coaxiale Düse mit der Düsenöffnung 15 wiederum mit 39 bezeichnet ist. Dem Luftleitzyylinder 36 sind sechs ihn umgebend angeordnete Regeneratropatronen 63 zugeordnet, die in der Öffnung 34 der Ofenwand liegen. Jede der Regeneratropatronen 63 besteht aus einer Anzahl strömungsmäßig hintereinander angeordneter übereinandergestapelter keramischer Speichersteine 64, die durchgehende Strömungskanäle enthalten. Solche Speichersteine sind bekannt, wozu beispielsweise auf "VDI-Wärmeatlas", vierte Auflage, 1984, Abschnitt N "Wärmeübertragung in Regeneratoren" hingewiesen werden kann. Jede der im Querschnitt teilkreisförmig mit einem dem Umfang des Luftleitzyinders 36 angepaßten Abschnitt 65 ausgebildeten Regeneratropatronen 63 ist mit einem die Spei-

chersteine 64 aufnehmenden, rohrförmig gestalteten Außenmantel 66 aus Stahlblech versehen, an den sich auf der dem Verbrennungsraum zugewandten Seite eine Düsenkammer 67 anschließt, in deren Bodenwand die Düsen 4 angeordnet sind.

Wie aus Fig. 7 zu ersehen, weist jede der Regeneratropatronen 63 jeweils zwei Düsen 4 auf, wobei alle Düsen 4 mit ihren Achsen wiederum auf dem Kreis 5 (Fig. 3) liegen und benachbarte Düsen 4 einen gleichen Achsabstand A aufweisen. Der Achsabstand A benachbarter Düsen 4 ist mehr als doppelt so groß als der Düsenöffnungsdurchmesser d. Insgesamt sind bei sechs gleichmäßig verteilt angeordneten Regeneratropatronen 63 zwölf kranzartig angeordnete Düsen 4 vorhanden.

Auf der den Düsen 4 gegenüberliegenden Seite ist der Innenraum des Außenmantels 66 der Regeneratropatronen 63 an einen Luft-Verteilerblock 68 abgedichtet angeschlossen, der auf den Luftleitzyylinder 36 coaxial aufgesetzt ist und das Kopfstück des Regeneratorbrenners 60 bildet. In dem Verteilerblock 68 sind Verteilerkanäle 69, 70, 71 ausgebildet, die an einen Ventilblock 72 angeschlossen sind, in den der Verbrennungsluftzufuhrstutzen 9 mündet und von dem der Verbrennungsabgasstutzen 12 abgeht.

Die Anordnung ist derart getroffen, daß der Luftleitkanal 69 mit dem Innenraum des Luftleitzyinders 36 und damit mit der Brennkammer 37 in Verbindung steht.

Der Verteilerkanal 70 und der Verteilerkanal 71 sind jeweils abwechselnd mit jeder zweiten Regeneratropatrone 63a bzw. 63b (Fig. 7) verbunden, derart, daß die Regeneratropatronen 63 in zwei Gruppen von je drei Regeneratropatronen aufgeteilt sind. Der Ventilblock 72 gestattet es, die strömungsmäßig parallelgeschalteten drei Regeneratropatronen 63a bzw. 63b jeder dieser beiden Gruppen abwechselnd mit kalter Verbrennungsluft oder mit heißen Verbrennungsabgasen aus dem Verbrennungsraum durchströmen zu lassen.

Die Betriebsweise dieses Regeneratorbrenners 60 ist grundsätzlich ähnlich jener des Rekuperatorbrenners nach den Fig. 4, 5:

Zum Anfahren aus dem kalten Zustand wird durch entsprechende Ansteuerung des Ventilblockes 72 zunächst über den Verteilerkanal 69 Verbrennungsluft in die Brennkammer 37 gefördert. Der in die Brennkammer 37 geförderte Brennstoff wird dort gezündet; er verbrennt in bekannter Weise mit Flammen. Der innenliegende Brenner mit der Brennkammer 37 arbeitet somit als ganz normaler herkömmlicher Gasbrenner. Die erzeugten Verbrennungsabgase strömen durch die Düsen 4 einer der beiden Regeneratropatronengruppen 63a, 63b und den zugeordneten Verteilerkanal 70 bzw. 71 in den Abgasstutzen 12. Die Düsen 4 der Regeneratropatronen 63b bzw. 63a der anderen Gruppe



sind noch nicht oder nur in-stark gedrosseltem Maße mit Verbrennungsluft beaufschlagt.

Sowie die für einen stabilen flammenlosen Betrieb erforderliche Temperaturerhöhung erreicht ist, werden die Ventile des Ventilblocks 72 derart umgeschaltet, daß die Luftversorgung der Brennkammer 37 abgesperrt oder gedrosselt wird, während gleichzeitig die kranzartig angeordneten Düsen 4 der jeweils luftführenden Regeneratorpatronen der Gruppe 63a bzw. 63b mit der Nennverbrennungsluftmenge versorgt werden. Das Brennstoffventil 42 wird entsprechend eingeregelt, so daß sich in der sich in dem Verbrennungsraum ausbildenden Oxidationszone wiederum eine im wesentlichen flammenlose pulsationsfreie Oxidation des Brennstoffs einstellt.

Die drei Regeneratorpatronen 63a bzw. 63b der beiden Gruppen werden abwechselnd von heißen Verbrennungsabgasen und von kalter Verbrennungsluft axial durchströmt, wie dies in Fig. 7 dadurch veranschaulicht ist, daß die Düsenöffnungen 4 einer Gruppe (der luftführenden) schraffiert dargestellt sind.

Der beschriebene Regeneratorbrenner erlaubt es, mit sehr hoher Luftvorwärmung zu arbeiten, wobei ein Luftvorwärmgrad von  $\epsilon \geq 0,9$  zu erreichen ist. Er kann in der erläuterten Bauart im übrigen auch mit Verbrennung des Brennstoffs in Flammen betrieben werden. Dabei kann eine zweistufige Verbrennung benutzt werden, wie sie beispielsweise in der DE-PS 34 22 229 erläutert ist.

Das neue Verfahren der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidation eines Brennstoffes läßt sich auch für feste Brennstoffmaterialien (Kohle, Abfall, Müll etc.) anwenden, wie dies anhand der Fig. 8, 9 im folgenden kurz erläutert wird.

Die in diesen Figuren schematisch dargestellte Vorrichtung verwendet ähnliche Elemente, wie sie bereits anhand der vorherbeschriebenen Ausführungsbeispiele erläutert wurden. Insoweit sind wiederum gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen und nicht weiter erläutert.

Der Verbrennungsraum 1 der Vorrichtung ist in einer Ofen- oder Brennkammer 30 enthalten, in der zur Nutzwärmeauskopplung die von einem Wärmeträgermittel durchströmte Rohrschlange 31 angeordnet ist, die in Fig. 8 jedoch lediglich schematisch angedeutet ist. Ihre praktische Ausbildung ist aus Fig. 4 zu ersehen; sie ist coaxial zu dem im wesentlichen zylindrischen Verbrennungsraum 1 ausgebildet.

Zusätzlich zu der Öffnung 34 ist in der Wandung der Ofen- oder Brennkammer 30 eine gegenüberliegende koaxiale zweite Öffnung 340 vorhanden. Beide Öffnungen 34, 340 nehmen ein durchgehendes Rohr 80 auf, das gegen die Kammerwandung abgedichtet ist. Das normalerweise mit verti-

kalen Betriebslage angeordnete Rohr 80 trägt oben einen Einfülltrichter 81, an den sich eine Einlaßschleuse 82 mit zwei abgedichteten Schleusentüren 83 anschließt, die über Anschlußstutzen 84 mit Luft gespült werden kann.

Eine ähnliche Schleuse 85 ist an dem gegenüberliegenden unteren Ende des Rohres 80 vorgesehen; ihre Schleusentüren sind mit 86 bezeichnet; über die Anschlußstutzen 87 kann der Schleusenraum mit Luft gespült werden. Oberhalb der unteren Schleuse 85 mündet eine Leitung 88 in das Rohr 80, über die ein Oxidationsmittel, beispielsweise Luft oder Wasserdampf, in das Rohr 80 eingeführt werden kann.

In dem durch den Verbrennungsraum 1 verlaufenden Teil seines Mantels ist das Rohr 80 mit Gasaustrittsöffnungen 89 versehen, deren Abstand von der oberen Kammerinnenwand zweckentsprechend gewählt ist und die die Brennstoffzuführeinrichtung für die im wesentlichen flammenlose Oxidation bilden.

Seitlich neben dem Rohr 80 und dieses kranzartig umgebend sind in die obere Kammerwand 90 sechs Regeneratoren 91 eingesetzt, deren grundsätzlicher Aufbau jeweils jenen einer der Regeneratorpatronen 63 der Fig. 6, 7 entspricht.

Jeder der Regeneratoren 91 enthält demgemäß eine Anzahl übereinander gestapelter Speichersteine 64, die in einem in diesem Falle zylindrischen Außenmantel 66 aus Blech angeordnet sind, der auf seiner dem Verbrennungsraum 1 zugewandten Stirnseite bis auf eine oder mehrere Düsen 4 verschlossen ist. Auf der gegenüberliegenden Seite ist der Außenmantel 66 unter Ausbildung eines Gas- oder Luftverteilungsraumes verschlossen, der an einen Verteilerkanal 70 oder 71 angeschlossen ist, welcher seinerseits wiederum zu einem nicht weiter dargestellten Ventilblock führt, der entsprechend dem Ventilblock 72 nach Fig. 6 aufgebaut ist.

Die Regeneratoren 91 sind wiederum in zwei Gruppen abwechselnd zueinander angeordneter Regeneratoren unterteilt; die Regeneratoren 91 jeder der beiden Gruppen werden abwechselnd von aus dem Verbrennungsraum 1 abströmenden heißen Verbrennungsabgasen und von von außen zugeführter kalter Verbrennungsluft durchströmt, so daß die von den heißen Verbrennungsabgasen an die Speichersteine 64 abgegebene Wärme von der sodann durchströmenden kalten Verbrennungsluft aufgenommen und zu deren Vorwärmung ausgenutzt wird.

Die Düsen 4 sind kranzartig rings um das achsparallele Rohr 80 angeordnet; der Achsabstand A benachbarter Düsen 4 ist wiederum größer als der doppelte Düsenöffnungsdurchmesser d.

Im Betrieb wird über den Einfülltrichter 81 festes stückiges Brennmaterial in das Rohr 80 por-

tionsweise über die Schleuse 82 eingebracht. Über die Leitung 88 wird das Oxidationsmittel eingeleitet, durch das nach entsprechender Zündung das Brennmaterial teiloxidiert wird. Dabei findet eine thermische Zersetzung des Brennmaterials statt, als deren Ergebnis brennbare Gase durch die Öffnungen 89 teilweise oder vollständig in den Verbrennungsraum 1 einströmen. Aus den Öffnungen der Düsen 4 der jeweils mit Luft beaufschlagten Gruppe der Regeneratoren 91 strömt vorgewärmte Verbrennungsluft in Strahlen aus, die sich mit in dem Verbrennungsraum 1 durch Injektorwirkung angesaugten rezirkulierenden Verbrennungsabgasen in bereits anhand der Fig. 2, 3 geschilderter Weise umhüllen und mischen, so daß ein Verbrennungsabgas-/Luftgemisch entsteht, das mindestens auf Zündtemperatur gehalten wird.

Die Gasaustrittsöffnungen 89 in dem Rohr 80 sind derart angeordnet, daß die austretenden brennbaren Gase am Ende der Mischstrecke mit dem Verbrennungsabgas-/Luftgemisch zusammenkommen und sich eine das Rohr 80 umgebende ringförmige Oxidationszone ausbildet, in der die im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation der Gase stattfindet.

Die in dem Rohr 80 verbleibenden festen Verbrennungsrückstände werden bedarfsgemäß durch die untere Aschenschleuse 85 abgeführt, so daß sich insgesamt ein kontinuierlicher Verbrennungsbetrieb ergibt. Diese, hier lediglich in ihrem schematischen Aufbau geschilderte Vorrichtung eignet sich deshalb auch besonders zur Müll- und Abfallverbrennung.

Die in verschiedenen Ausführungsformen im Zusammenhang mit den Fig. 2 bis 9 beschriebenen Vorrichtungen zur Durchführung des im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidationsverfahrens zeichnen sich dadurch aus, daß bei hoher Verbrennungsluftvorwärmung und damit hervorragender Ausnutzung der Brennstoffenergie die Stickoxidemissionen auf ein praktisch vernachlässigbares Minimum reduziert sind. Dies ist augenfällig aus dem Diagramm nach Fig. 10 zu entnehmen, in dem in Abhängigkeit von der Verbrennungsluftvorwärmtemperatur der NOx-Anteil in dem trockenen Verbrennungsabgas, wie es in die Atmosphäre abgegeben wird, für nach verschiedenen Verfahren arbeitende Brenner veranschaulicht ist.

Das schraffiert dargestellte Gebiet 100 veranschaulicht die NOx-Emission bei einem normalen Industriebrenner, der mit Oxidation des Brennstoffes in Flammen ohne zusätzliche Maßnahmen zur NOx-Minderung arbeitet. Der NOx-Anteil in dem trockenen Verbrennungsabgas steigt mit zunehmender Luftvorwärmtemperatur steil an, so daß solche Brenner den heute geltenden gesetzlichen Bestimmungen (TA-Luft 1986) durchweg nicht mehr entsprechen. Der durch die TA-Luft 1986 vorgege-

bene Grenzwertverlauf ist zum Vergleich eingetragen.

Wesentlich günstigere Verhältnisse hinsichtlich der NOx-Emission ergeben sich für Rekuperatorbrenner, die mit zweistufiger Verbrennung arbeiten, wie sie beispielsweise in der D E-PS 34 22 229 beschrieben sind. Wie der zugeordnete, ebenfalls gestrichelt dargestellte Bereich 102 zeigt, muß mit zunehmender Verbrennungsluftvorwärmtemperatur aber auch bei diesen Brennern ein nicht unerheblicher Anstieg des NOx-Anteils in dem trockenen Verbrennungsabgas in Kauf genommen werden.

Demgegenüber zeigt das Gebiet 103, das die Verhältnisse bei einem nach dem neuen Verfahren arbeitenden Rekuperator oder Regeneratorbrenner entsprechend Fig. 4 bzw. Fig. 6 veranschaulicht, daß der fast verschwindende NOx-Anteil in dem trockenen Verbrennungsabgas sich mit zunehmender Verbrennungsluftvorwärmtemperatur nur unbedeutend erhöht und deshalb insgesamt vernachlässigbar ist. Daraus ergibt sich, daß bei diesem Verfahren mit praktisch beliebig hoher Luftvorwärmung gearbeitet werden kann, ohne daß eine unzulässig hohe NOx-Bildung zu erwarten wäre.

Zur Erniedrigung der erforderlichen Zündtemperatur kann in dem Verbrennungsraum 1 ein Katalysator, beispielsweise aus Eisenoxid, angeordnet sein. Es ist auch denkbar, dem Brennstoff und/oder der Verbrennungsluft feinverteiltes Katalysatormaterial zuzusetzen.

Bei kleinvolumigen Verbrennungsräumen kann es notwendig werden, das aus dem Verbrennungsraum 1 abströmende Verbrennungsabgas über einen Katalysator (beispielsweise Fe) zu leiten, der etwa verbleibende CO-Anteil oxidiert.

Das neue Verfahren hat den Vorteil, daß es mit hoher Luftvorwärmung arbeiten kann. In speziellen Einzelfällen kann es aber auch ohne oder mit verhältnismäßig geringer Luftvorwärmung durchgeführt werden, beispielsweise wenn mit stark verschmutzten Verbrennungsabgasen zu rechnen ist.

Außerdem sind Fälle denkbar, bei denen der Brennstoff vorgewärmt wird, wozu ebenfalls Verbrennungsabgaswärme verwendet werden kann.

Die Ausführungsbeispiele nach den Fig. 4, 5 und 6, 7 betreffen Brenner zur direkten Beheizung einer Ofen- oder Brennkammer 20 bzw. 30. Das neue Verfahren kann aber auch zum Betrieb von Strahlrohren angewandt werden, bei denen eine Abgasrezirkulation möglich ist, z.B. bei Mantel- und P-Strahlrohren. Der Verbrennungsraum liegt dabei in dem Strahlrohr.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einem Verbrennungsraum, bei dem Brennstoff mit vorzugsweise vorgewärmter Verbrennungs-

- luft in Gegenwart von zurückgeführten Verbrennungsabgasen oxidiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß Verbrennungsabgase, denen vorher aus dem System nach außen abgeführte Nutzwärme entzogen wurde, mit der vorgewärmten Verbrennungsluft in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis  $r \geq 2$  vermischt wird (wobei das Verbrennungsabgasverhältnis als Verhältnis der Massenströme der rückgeführten Verbrennungsabgase und der Verbrennungsluft definiert ist) und dabei dieses Verbrennungsabgas-/Luftgemisch auf einer Temperatur gehalten wird, die höher liegt als die Zündtemperatur und daß das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch sodann mit dem Brennstoff unter Ausbildung einer Oxidationszone zusammengebracht wird, in der eine im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation in dem Verbrennungsraum stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennungsluft in Form von aus Düsen austretenden Luftstrahlen durch einen im wesentlichen brennstofffreien Bereich geführt wird, in dem die Luftstrahlen sich mit durch Injektorwirkung aus dem Verbrennungsraum angesaugten Verbrennungsabgasen umhüllen und vermischen können.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftstrahlen kranzförmig angeordnet sind und die Brennstoffzufuhr in dem von den Luftstrahlen umschlossenen Bereich in einem vorbestimmten Abstand hinter den Düsenöffnungen erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Mindeststachsabstand (A) benachbarter Düsenöffnungen größer ist als der doppelte Düsenöffnungsdurchmesser (d).
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft beim Austritt aus den Düsenöffnungen mindestens 20 m/sec beträgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennungsluft mit einem Luftvorwärmungsgrad  $\epsilon > 0,6$  vorgewärmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Luftvorwärmung Verbrennungsabgase verwendet werden, denen vorher Nutzwärme entzogen wurde.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch durch Zufuhr von Fremdwärme zumindest in der Oxidationszone auf Zündtemperatur gehalten wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Oxidationszone die Zündtemperatur katalytisch herabgesetzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Anfahren aus dem kalten Zustand in dem Verbrennungsraum zunächst Brennstoff unter entsprechendem Luftüberschuß mit stabiler Flamme verbrannt wird, bis das Verbrennungsabgas-/Luftgemisch mindestens auf Zündtemperatur gebracht werden kann und daß sodann durch entsprechende Veränderung der Verbrennungsluft- und/oder der Brennstoffzufuhr die Reaktionsbedingungen in der Oxidationszone auf die im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation übergeleitet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß beim Anfahren die Lichtemission der Flamme im UV-Bereich und nach dem Einsetzen der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidation das Verschwinden dieser Lichtemission im UV-Bereich überwacht werden.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Überwachung der im wesentlichen flammenlosen und pulsationsfreien Oxidation die strömungsabwärts hinter der Oxidationszone gemessene Temperaturerhöhung in dem Verbrennungsraum benutzt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Verbrennungsraum festes oder flüssiges Brennmateriel thermisch zersetzt (vergast) wird und daß das dabei frei werdende brennbare Gas unmittelbar als Brennstoff im wesentlichen flammenlos und pulsationsfrei in der Oxidationszone oxidiert wird.
14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer durch Injektorwirkung Verbrennungsabgase zurücksaugenden Düseneinrichtung für Verbrennungsluft, mit Luftleitmitteln zum Zuführen von Verbrennungsluft zu der Düseneinrichtung, mit einer Brennstoffzuführeinrichtung

- und gegebenenfalls mit einer Einrichtung zur Vorwärmung der Verbrennungsluft, dadurch gekennzeichnet, daß sie durch entsprechende Anordnung und Ausbildung der Düseneinrichtung (4) mit einer Rücksaugung von Verbrennungsabgasen aus dem Verbrennungsraum (1) in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis  $r \geq 2$  arbeitet, wobei die aus der Düseneinrichtung (4) austretende Verbrennungsluft mit den zurückgesaugten, im Verbrennungsraum (1) teilweise abgekühlten Verbrennungsabgasen unter Ausbildung eines zumindest Zündtemperatur aufweisenden Verbrennungsabgas-/Luftgemisches mischbar ist und daß die Brennstoffzuführeinrichtung (41, 15) zur Zufuhr des Brennstoffes zu diesem Gemisch eingerichtet ist, derart, daß sich in einer sich in dem Verbrennungsraum (1) ausbildenden Oxidationszone (19) eine im wesentlichen flammenlose und impulsfreie Oxidation des Brennstoffes ergibt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Düseneinrichtung eine Anzahl kranzförmig angeordneter Düsen (4) aufweist und daß die Brennstoffzuführeinrichtung innerhalb des von den Düsen (4) gebildeten Kranzes mündend (bei 15) ausgebildet ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Mindestachsabstand (A) benachbarter Düsenöffnungen größer als der doppelte Düsenöffnungsdurchmesser (d) ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß der in Strömungsrichtung gemessene Abstand zwischen der Düsenöffnungsberandung und dem Bereich, in dem der aus der Brennstoffzuführeinrichtung austretende flüssige oder gasförmige Brennstoff mit dem Gemisch gemischt wird, größer als dem Sechsfachen des Düsenöffnungsdurchmessers (d) ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Austrittsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft aus den Düsen (4) mindestens 20 m/sec beträgt.
19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die mit gasförmigem oder fein verteiltem oder verdampftem flüssigem Brennstoff arbeitende Brennstoffzuführeinrichtung eine Brennstoffauslaßdüse (15) aufweist, die in einem vorbestimmten Abstand strömungsabwärts hinter den Verbrennungsluft-Düsen (4) mündet.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen der Brennstoffdüse (15) und den Verbrennungsluft-Düsen (4) verstellbar ist.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftzuführeinrichtung und/oder die Düseneinrichtung (4) und/oder die Brennstoffzuführeinrichtung zwischen zwei verschiedenen Betriebszuständen umsteuerbar oder umschaltbar ausgebildet sind, von denen in einem der Brennstoff mit Luftüberschuß unter Flammenbildung verbrannt und in dem anderen der Brennstoff im wesentlichen flammenlos und pulsationsfrei oxidiert wird.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine in dem von den Düsen (4) gebildeten Kranz mündende Brennkammer (37) aufweist, in der die Brennstoffzuführeinrichtung (41) mündet und die Verbrennungslufteinlässe (40) aufweist, und daß den Verbrennungslufteinlässen (40) und den Düsen (4) Luftsteuermittel (72) zugeordnet sind, durch die der Verbrennungsluftdurchsatz durch die Verbrennungslufteinlässe (40) und die Düsen (4) wahlweise steuerbar ist.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß sie mit einem den Düsen (4) vorgeschalteten Rekuperator (47, 48) ausgebildet ist, der von der Verbrennungsluft und von Verbrennungsabgasen durchströmt ist, denen im Verbrennungsraum (1) Nutzwärme entzogen wurde.
24. Vorrichtung insbesondere nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Regeneratorbrenner (60) mit zumindest zwei abwechselnd von Verbrennungsluft und von durch Nutzwärmeentzug abgekühlten Verbrennungsabgasen durchströmten Regeneratoreinheiten (63) ausgebildet ist, denen Umschaltvorrichtungen (72) für die Verbrennungsluft und die Verbrennungsabgase zugeordnet sind.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Regeneratoreinheiten (63) unter Ausbildung einer Baueinheit die Brennstoffzuführeinrichtung (41) umgebend angeordnet sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Regeneratoreinheiten (63) jeweils patronenartig mit wenigstens einer auf der dem Verbrennungsraum (1) zugewandten Stirnseite angeordneten Verbrennungsluft-

Düse (4) ausgebildet sind.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzuführeinrichtung eine in dem Verbrennungsraum (1) angeordnete beheizte Kammer (80) insbesondere für feste, thermisch zersetzbare oder vergasbare Brennmateriale aufweist, die mit wenigstens einem in den Verbrennungsraum (1) mündenden Auslaß (89) für bei der Vergasung entstehenden gasförmigen Brennstoff versehen ist und deren Brennstoffauslaß (89) innerhalb des von den Verbrennungsluft-Düsen (4) gebildeten Kranzes mündet.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (80) im Durchlaufbetrieb mit Brennmateriale beschickbar ausgebildet ist
29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer ein beidseitig abschließbares Rohr (80) aufweist, das mit wenigstens einem Brennstoffauslaß (89) versehen ist und das durch den Verbrennungsraum (1) verlaufend und gegenüber diesem abgedichtet angeordnet ist.
30. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr (80) beidseitig durch Verschlusseinrichtungen (82, 85) verschließbar ist und einen Oxidationsmitteleinlaß (88) aufweist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr (80) einendseits eine Brennstoffeinfüllvorrichtung (81, 82) und anderenendseits eine Abführeinrichtung (85) für Verbrennungsrückstände aufweist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

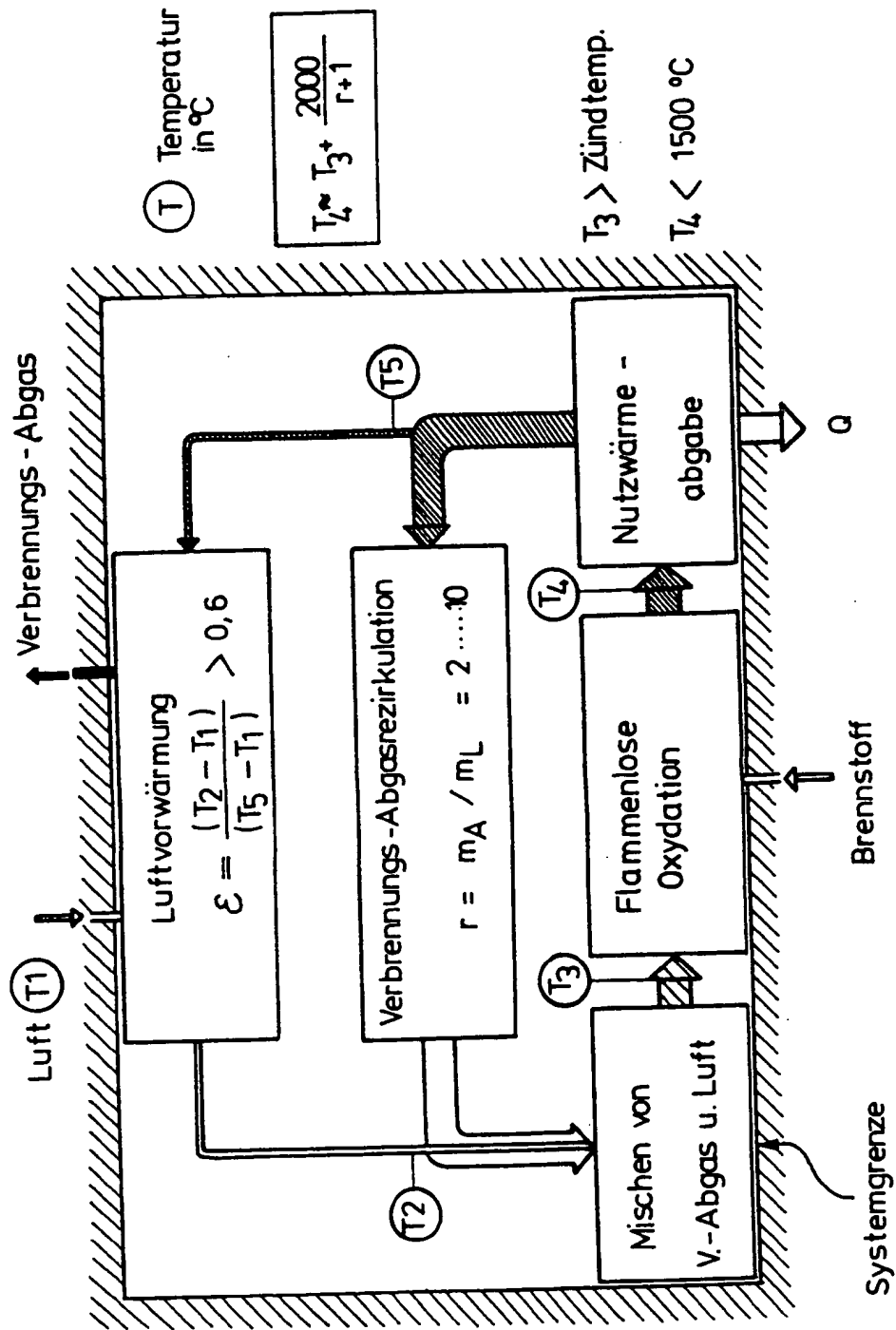


Fig. 1

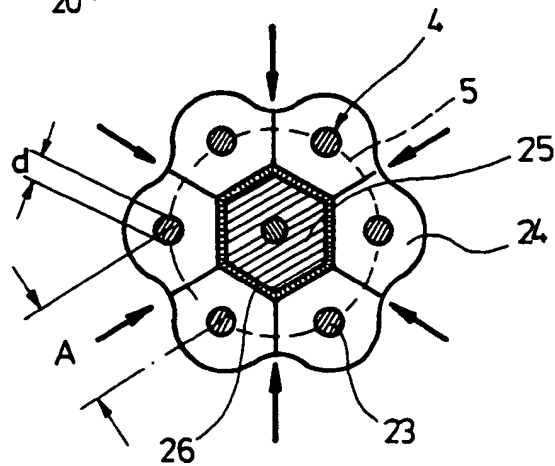
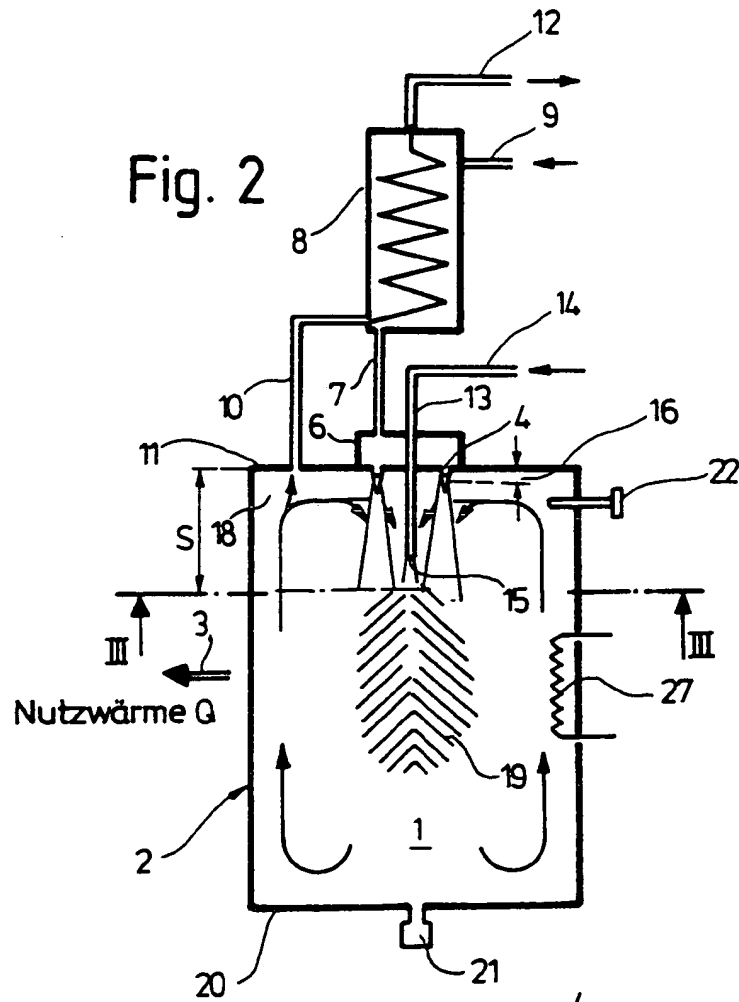


Fig. 3

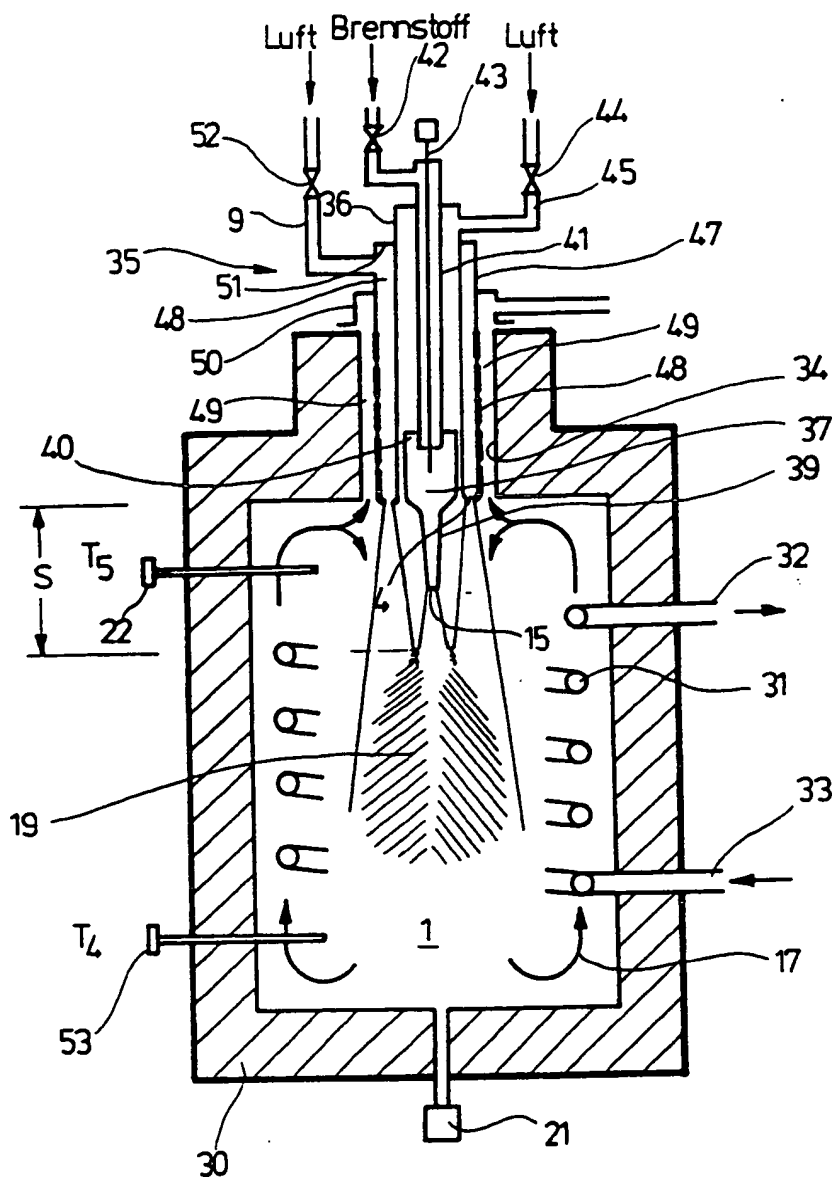


Fig. 4

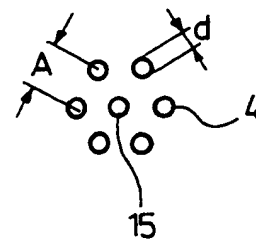


Fig. 5

$$S > 6 \cdot d$$

$$A > 2 \cdot d$$



Fig. 6

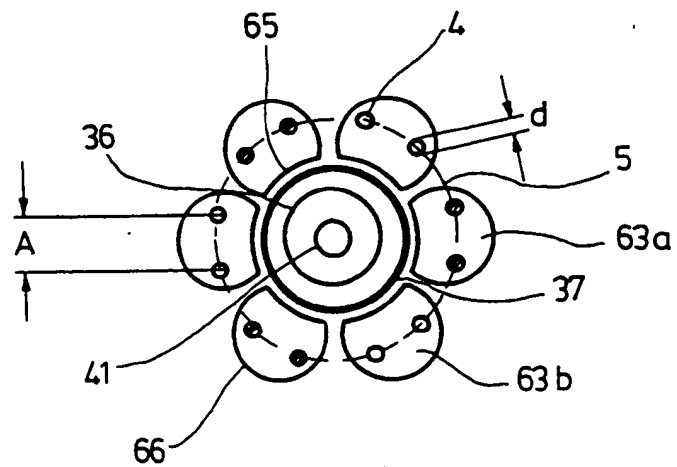
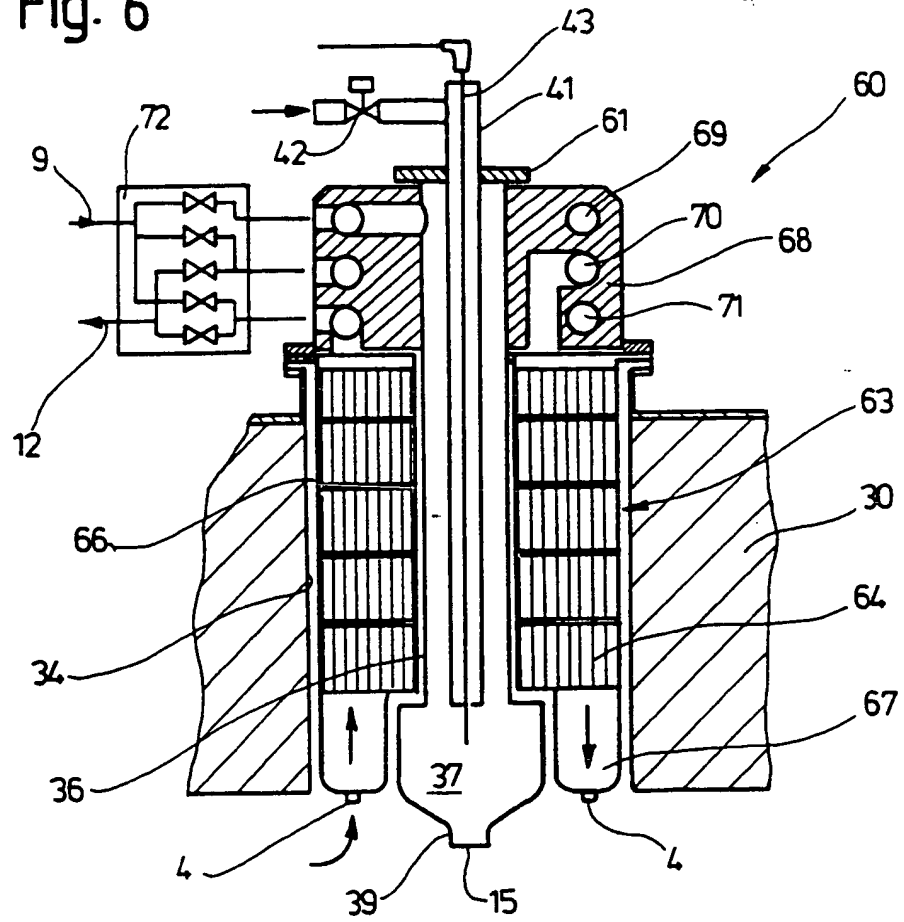


Fig. 7

Fig. 8

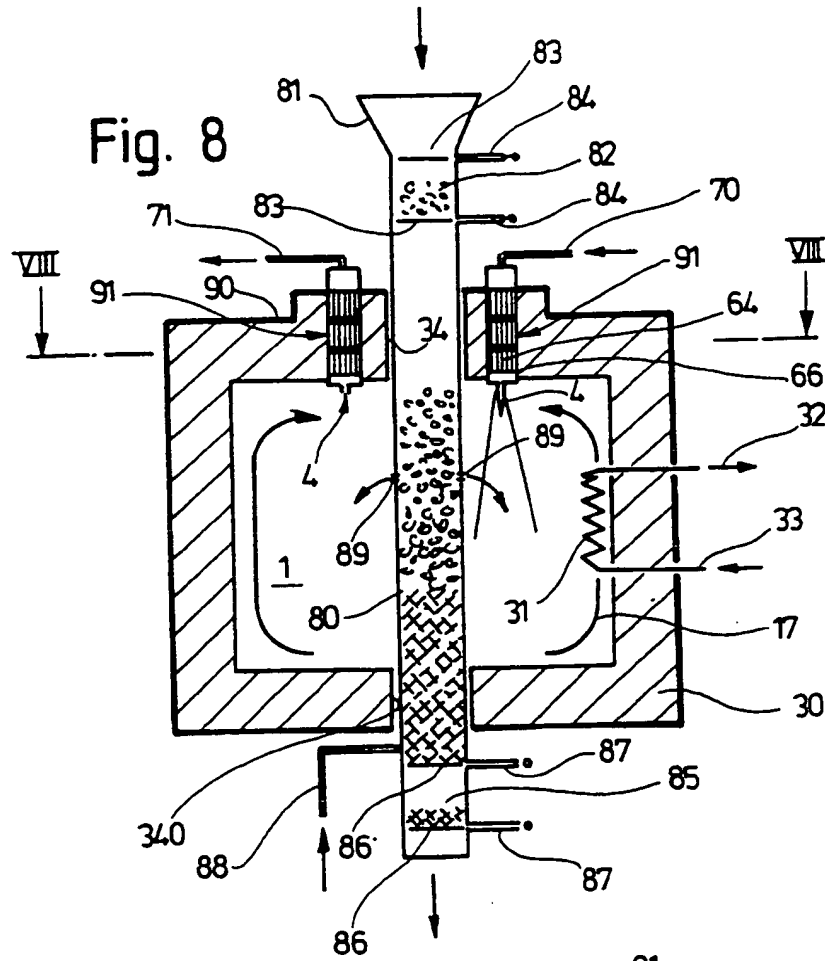


Fig. 9

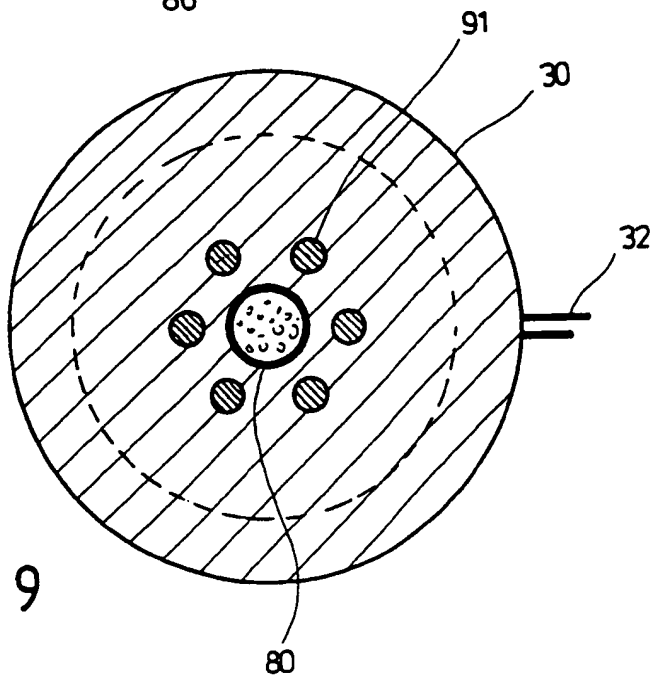
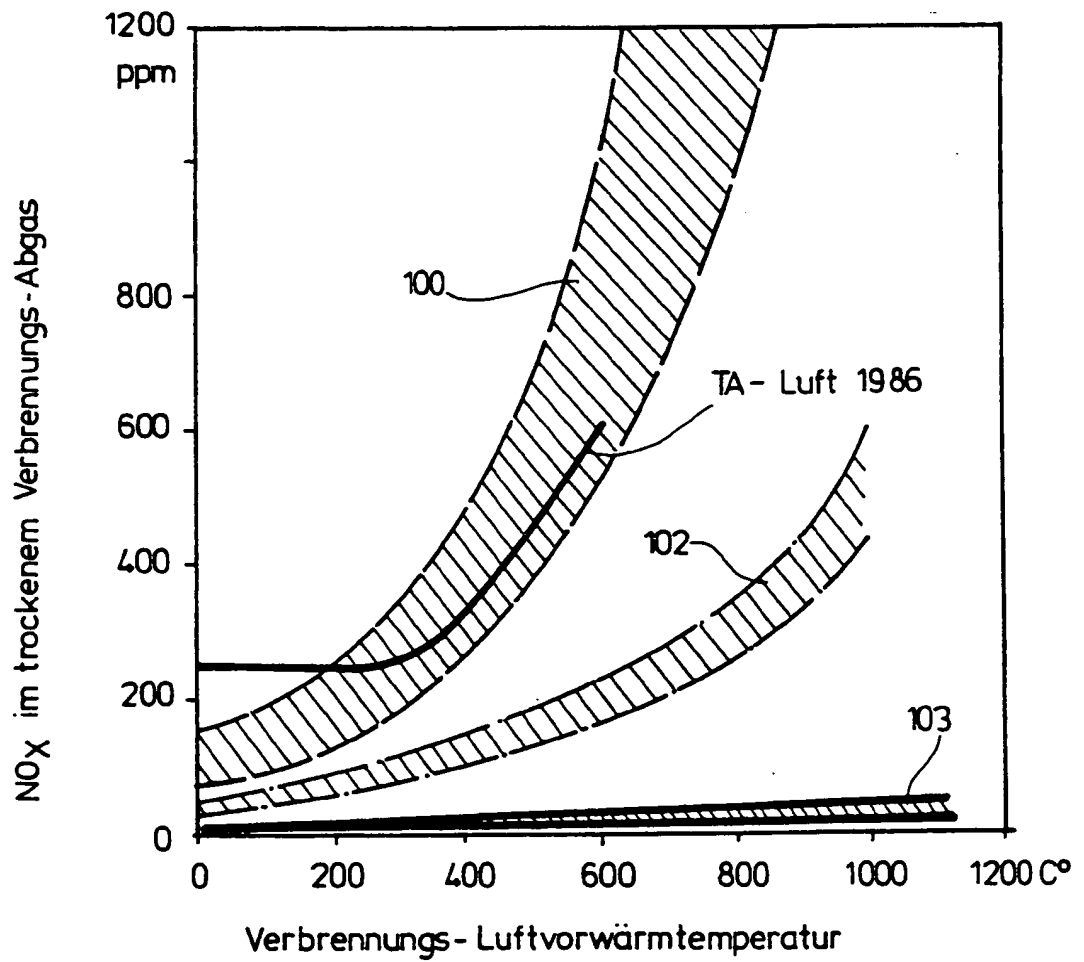


Fig. 10





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 11 2392

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	US-A-4 519 993 (McGILL) * Spalte 7, Zeilen 44-68; Spalte 8, Zeilen 16-20, 44-68; Spalte 12, Zeilen 15-33; Spalte 13, Zeilen 4-9; Figur 2 *	1	F 23 C 9/00 F 23 C 11/00 F 23 L 15/02 F 23 L 15/04 F 23 B 1/14
A,D	DE-A-3 422 229 (WS WÄRMEPROZESSTECHNIK GmbH) * Seite 10, letzter Absatz; Seite 12, Absätze 2,4; Seite 17, Absatz 1 - Seite 18, Absatz 3; Seite 20, letzter Absatz; Seite 21, Absatz 1; Seite 22, Absatz 2; Seite 24, Zeilen 15,16; Figuren 1-3 *	1-6, 14-16,18, 23	
A,D	DE-A-2 303 280 (LINDE) * Seite 1, Zeilen 1-6,17-21; Seite 3, Zeilen 14-23; Seite 4, Absätze 2,3; Figuren 1-3 *	1-3,14,15	
A	EP-A-0 194 000 (BRITISH GAS CORP.) * Seite 2, Zeile 13 - Seite 4, Zeile 9; Figuren 1,3 *	24,25	
A	US-A-4 104 018 (McKAY)		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)  F 23 C F 23 B F 23 G F 23 L
Recherchenort  Den Haag		Abschlußdatum der Recherche  01 März 91	Prüfer  PHOA Y.E.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument  & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			